

## Мониторинг содержания оксида углерода в атмосфере нефтегазодобывающих регионов ХМАО по спутниковым данным MORPIT

М.Н. Алексеева<sup>✉1,3</sup>, К.Н. Пустовалов<sup>2,3</sup>, Е.А. Головацкая<sup>2</sup>, И.Г. Яценко<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>Институт химии нефти СО РАН  
634055, г. Томск, пр. Академический, 4

<sup>2</sup>Институт мониторинга климатических и экологических систем СО РАН  
634055, г. Томск, пр. Академический, 10/3

<sup>3</sup>Национальный исследовательский Томский государственный университет  
634050, г. Томск, пр. Ленина, 36

Поступила в редакцию 01.03.2024;  
после доработки 07.05.2024;  
принята к печати 08.05.2024

Представлены результаты анализа изменчивости содержания оксида углерода (CO) в атмосфере над нефтезагрязненной территорией в ХМАО по данным спутникового зондирования (Terra/MORPIT). Изучена суточная и сезонная динамика интегрального содержания и приземной концентрации CO. Среднее содержание CO (интегральное и приземное) в нефтезагрязненном районе превышает аналогичные значения в фоновом районе как в целом для теплого периода года, так и для большинства месяцев. Результаты исследования указывают на достаточную чувствительность прибора MORPIT для определения концентрации оксида углерода в условиях антропогенной деятельности.

**Ключевые слова:** оксид углерода, спутниковые данные MORPIT, тропосфера, факельные установки, стационарные источники, попутный нефтяной газ; carbon monoxide, MORPIT satellite data, troposphere, flare, stationary source, associated petroleum gas.

### Введение

Оксид углерода (CO) — токсичный газ, образующийся в процессе неполного сгорания топлива (древесного, угольного, нефтепродуктов) в котлоагрегатах, двигателях автомобилей, факелах, в бытовых и промышленных печах. Значительные выбросы в атмосферу CO происходят также при пожарах.

На территории Ханты-Мансийского автономного округа (ХМАО) в 2022 г. оксид углерода составил основную долю от общего объема выбросов в атмосферу (1141,6 тыс. т) — 48% (543,6 тыс. т) [1].

В настоящее время при мониторинге выбросов малых газовых составляющих применяются различные спутниковые методы и приборы (AIRS, GOSAT, TROPOMI, MORPIT). MORPIT — корреляционный спектрометр, работающий на восьми частотных каналах в трех различных диапазонах спектра: четыре канала — в области 4,62 мкм, два канала — в районе 2,33 мкм, два канала — в окрестности

2,26 мкм. Он установлен на спутнике Terra, запущенном NASA в 1999 г. по программе EOS (англ. Earth Observation System). В приборе реализован режим поперечного сканирования с шириной полосы в 640 км и пространственным разрешением порядка 22 км [2]. Ранее в работе [3] было показано, что данные, полученные MORPIT, позволяют обнаруживать и моделировать выбросы CO при лесных пожарах. В [4] показана связь областей повышенного содержания CO с крупными городскими и промышленными агломерациями, а также с местами интенсивной нефтегазодобычи.

Цель работы — анализ суточной и сезонной изменчивости содержания оксида углерода в атмосфере над нефтезагрязненной и фоновой территориями в ХМАО по данным дистанционного зондирования.

### Материалы и методы

Объектом исследования является содержание оксида углерода в атмосфере над участком с развитой структурой нефтегазодобывающих предприятий Нефтеюганского района и над фоновым участком Сургутского района ХМАО. По данным наземных измерений [5] концентрации CO в г. Нефтеюганске

\* Мария Николаевна Алексеева (amn@ipc.tsc.ru);  
Константин Николаевич Пустовалов (const.py@yandex.ru);  
Евгения Александровна Головацкая (golovatskaya@yandex.ru);  
Ирина Германовна Яценко (src@ipc.tsc.ru).

в период с 2021 по 2023 г. варьируются от 0,15 до 0,5 мг/м<sup>3</sup> и не превышают предельно допустимую максимальную разовую концентрацию (ПДК<sub>мр</sub>) (5 мг/м<sup>3</sup>) (рис. 1).

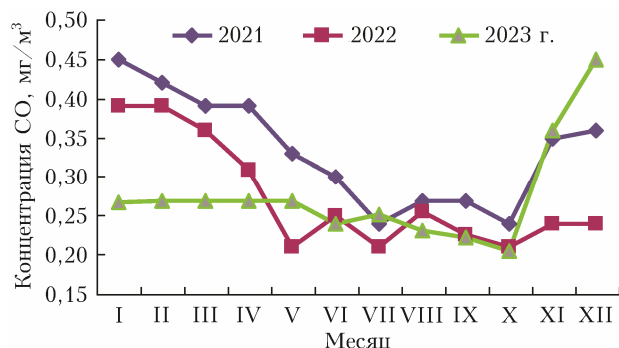
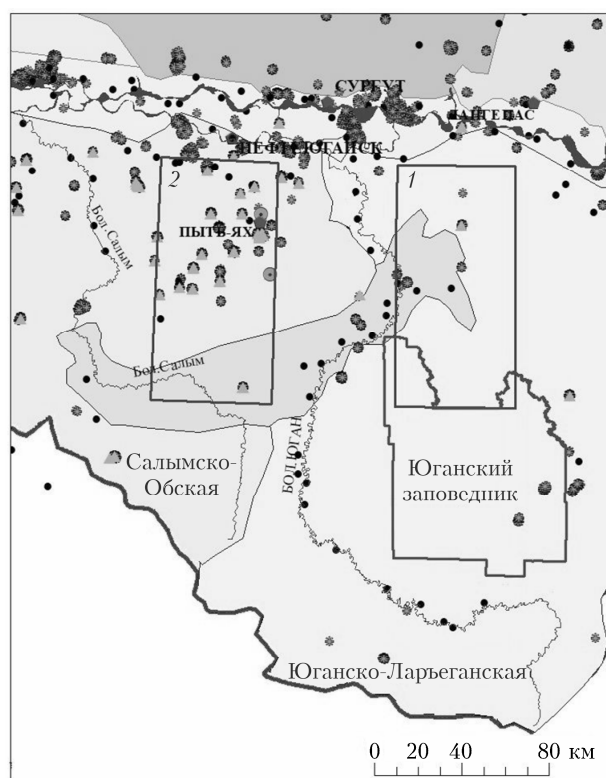


Рис. 1. Сезонная изменчивость концентрации CO в г. Нефтеюганске в 2021–2023 гг. по наземным измерениям [3]

Расположение фонового и загрязненного районов показано на рис. 2.



- Исследуемые факельные установки (ФУ)
- ▲ ФУ, идентифицированные в <https://earthexplorer.usgs.gov/>
- Города с населением больше 40 тыс. чел.
- Населенные пункты
- \* Объекты с горением (<https://firms.modaps.eosdis.nasa.gov/>)

Рис. 2. Расположение фонового (1) и загрязненного (2) районов, для которых были получены оценки изменчивости приземной концентрации и полного содержания CO по данным MORITT

В качестве загрязненного района выбран участок (1 × 1° по широте и долготе) Нефтеюганского района, охватывающий территорию Мамонтовского нефтегазового месторождения. Ранее для этого участка была составлена карта растительного покрова и антропогенных объектов. Из антропогенных классов представлены: населенные пункты, линии электропередач, кустовые площадки, нефтезагрязненные земли [6].

Фоновым районом выбран участок (1 × 1° по широте и долготе), расположенный на той же широте, но имеющий меньшее количество тепловых объектов и захватывающий часть Юганского заповедника. По ландшафтному районированию исследуемые участки находятся в Обско-Иртышской равнинной таежно-болотной ландшафтной области Салым-Обской ландшафтной провинции и Юганско-Ларьеганской ландшафтной провинции приподнятых таежно-болотных равнин (рис. 2) [7]. В административном отношении участки относятся к Нефтеюганскому и Сургутскому районам. Площадь Нефтеюганского района ХМАО–Югра равна 2 263 044 га, из них площадь лесных земель — 1 245 597 га (55%), болот — 879 013 га (38,9%) [8]. Площадь Сургутского района равна 6 386 050 га, из них площадь лесных земель — 1 471 553 га (23%), болот — 3 665 566 га (57,4%) [9].

В 2023 г. было выполнено картирование объектов горения (рис. 2; обозначены звездочками и треугольниками) по следующему алгоритму: скачивание соответствующего векторного слоя пожаров с интернет-портала [10]; идентификация больших скоплений тепловых точек данного слоя пожаров в интернет-портале [11]; определение координат тепловых точек производственных объектов. Факельные установки являются одним из основных источников загрязнения атмосферного воздуха на территории ХМАО. При сжигании попутного газа в атмосферу выбрасывается большое количество вредных веществ (в том числе и CO), что влечет за собой ухудшение состояния окружающей среды.

Исследование содержания CO в тропосфере основано на данных дистанционных измерений, проводимых с помощью ИК-радиометра MORITT, установленного на спутнике Terra. Были использованы продукты MORITT версии 9 (V9) уровня обработки 3 (L3) [12] — Retrieved CO Total Column (Day/Night) и Retrieved CO Surface Mixing Ratio (Day/Night), представляющие собой полное (интегральное) содержание CO в тропосфере (от подстилающей поверхности до примерно 16 км) и концентрацию CO на уровне подстилающей поверхности соответственно. Эти продукты созданы на основе данных измерений радиометром MORITT в среднем и ближнем ИК-диапазонах (TIR/NIR), входят в наборы данных MOR03J.009/109 и доступны на сервере Atmospheric Science Data Center [13]. Пространственное разрешение продуктов 1 × 1° по широте и долготе, временное разрешение — 1 сут.

С сервера были получены файлы, содержащие данные продуктов MORITT для всей планеты

за отдельные сутки 2020–2023 гг. В рамках исследования были обработаны данные МОРИТТ за 1295 сут (примерно четыре года). Количество отобранных и проанализированных значений обоих продуктов, полученных по дневным и ночным измерениям спутника Terra с января по декабрь (2020–2023 гг.), составило: для фонового района 201 и 336 соответственно; для загрязненного района 209 и 336 соответственно, из них в теплый период года (май – сентябрь) количество значений обоих продуктов составило для фонового района 113 и 134, а для загрязненного 116 и 125 соответственно.

Импорт, обработка и анализ данных продуктов МОРИТТ выполнялись в среде программирования MATLAB (The Math Works), в том числе с применением специализированного пакета расширения для статистического анализа данных и машинного обучения – Statistics and Machine Learning Toolbox. Был разработан программный код, с помощью которого в пакетном режиме проводились извлечение данных из HDF5-файлов, отбор значений продуктов МОРИТТ, соответствующих определенным условиям (координатам районов, периодам, времени суток), их обработка и анализ. Для анализа изменчивости приземной концентрации и полного (интегрального) содержания СО в районах исследования применялись методы дескриптивной (описательной) статистики. В частности, были рассчитаны статистические характеристики, как параметрические – среднее арифметическое ( $M$ ), среднее квадратическое

отклонение ( $SD$ ), так и непараметрические – медиана ( $Me$ ), интерквартильный размах ( $IQR$ ), 5-, 25-, 75- и 95-перцентили (далее  $P_5$ ,  $P_{25}$ ,  $P_{75}$  и  $P_{95}$ ).

Кроме того, проводилась визуализация изменчивости исследуемых величин посредством статистических графиков – диаграмм box plot, которые позволяют в компактном виде отобразить основные непараметрические статистические характеристики –  $Me$ ,  $IQR$ ,  $P_{25}$ ,  $P_{75}$ , минимальное и максимальное значения выборки (границы доверительного интервала). На диаграмме линия внутри «ящика» соответствует  $Me$ , нижний и верхний края «ящика» –  $P_{25}$  и  $P_{75}$  (нижнему и верхнему квартилям), толщина «ящика» –  $IQR$ , нижний и верхний «усы» – нижней и верхней границам доверительного интервала. Последние рассчитываются как  $P_{25} - 1,5IQR$  и  $P_{75} + 1,5IQR$  и приблизительно равны  $M - 2,7SD$  и  $M + 2,7SD$ , а интервал между ними соответствует 99,3% выборки.

## Результаты и обсуждение

Рассчитанные по данным МОРИТТ статистические характеристики изменчивости приземной концентрации и полного (интегрального) содержания СО в фоновом и загрязненном районах – среднегодовые (2020–2023 гг.) за теплый период (май–сентябрь) и среднегодовые 2020–2023 гг. за январь–декабрь во время дневных и ночных пролетов спутника Terra – представлены на рис. 3 и в табл. 1, 2.

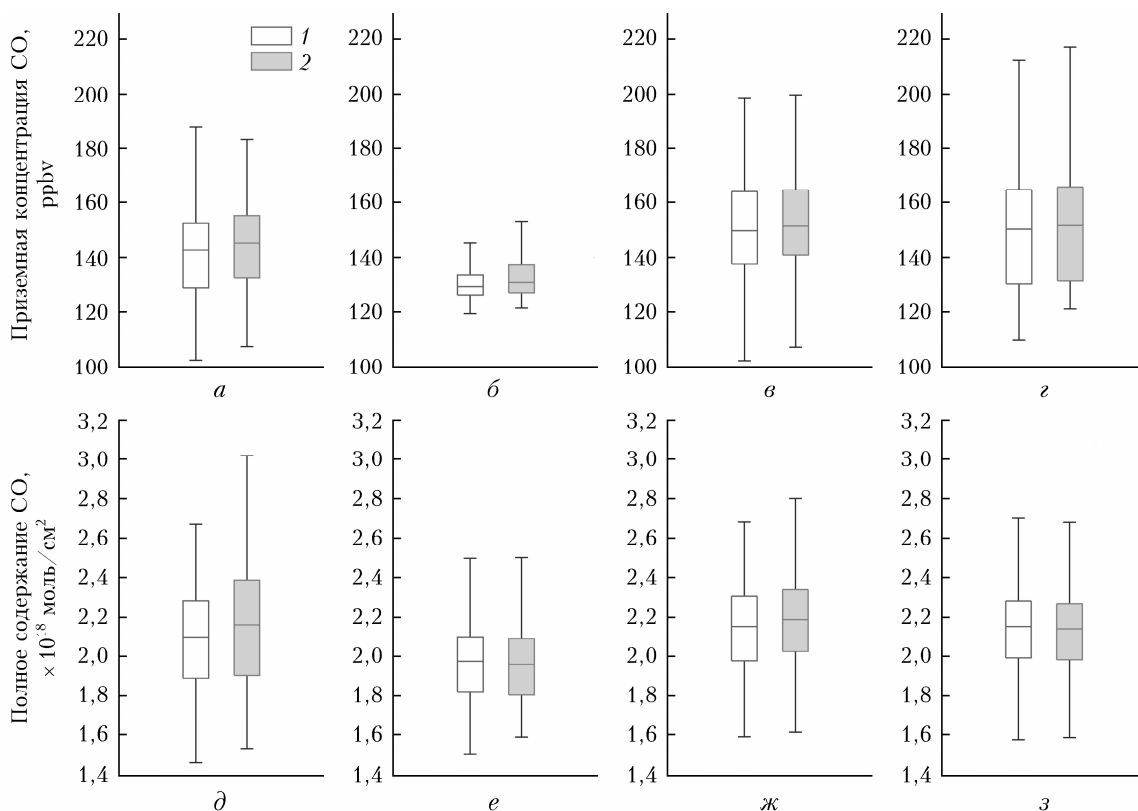


Рис. 3. Диаграммы изменчивости приземной концентрации (а–г) и полного (интегрального) содержания СО в тропосфере (д–з) в фоновом (1) и загрязненном (2) районах по данным МОРИТТ, полученным во время дневных (а, в, д, ж) и ночных (б, г, е, з) пролетов спутника Terra в мае – сентябре (а, б, д, е) и январе – декабре (в, г, ж, з) 2020–2023 гг.

Таблица 1

## Статистические характеристики изменчивости приземной концентрации СО, ppbv

| Период           | Район | Время суток | <i>M</i> | <i>SD</i> | <i>Me</i> | <i>IQR</i> | <i>P</i> <sub>5</sub> | <i>P</i> <sub>25</sub> | <i>P</i> <sub>75</sub> | <i>P</i> <sub>95</sub> |
|------------------|-------|-------------|----------|-----------|-----------|------------|-----------------------|------------------------|------------------------|------------------------|
| Май – сентябрь   | 1     | День*       | 145      | 26        | 143       | 24         | 115                   | 129                    | 152                    | 187                    |
|                  |       | Ночь*       | 132      | 9         | 129       | 8          | 122                   | 126                    | 134                    | 151                    |
|                  | 2     | День*       | 148      | 28        | 145       | 23         | 117                   | 133                    | 155                    | 211                    |
|                  |       | Ночь*       | 134      | 11        | 131       | 10         | 123                   | 127                    | 137                    | 157                    |
| Январь – декабрь | 1     | День        | 154      | 30        | 150       | 26         | 116                   | 138                    | 164                    | 206                    |
|                  |       | Ночь        | 152      | 24        | 151       | 35         | 124                   | 130                    | 165                    | 191                    |
|                  | 2     | День        | 156      | 34        | 152       | 24         | 118                   | 141                    | 165                    | 205                    |
|                  |       | Ночь        | 152      | 23        | 152       | 35         | 124                   | 131                    | 166                    | 196                    |

\*Для соответствующих выборок различия статистически значимы по *t*-критерию Стьюдента для независимых данных при  $p = 0,95$ .

Таблица 2

Статистические характеристики изменчивости полного (интегрального) содержания СО в тропосфере,  $\times 10^{18}$  моль/см<sup>2</sup>

| Период           | Район | Время суток | <i>M</i> | <i>SD</i> | <i>Me</i> | <i>IQR</i> | <i>P</i> <sub>5</sub> | <i>P</i> <sub>25</sub> | <i>P</i> <sub>75</sub> | <i>P</i> <sub>95</sub> |
|------------------|-------|-------------|----------|-----------|-----------|------------|-----------------------|------------------------|------------------------|------------------------|
| Май – сентябрь   | 1     | День        | 2,11     | 0,28      | 2,10      | 0,39       | 1,68                  | 1,89                   | 2,28                   | 2,59                   |
|                  |       | Ночь        | 1,99     | 0,31      | 1,97      | 0,28       | 1,60                  | 1,82                   | 2,10                   | 2,49                   |
|                  | 2     | День        | 2,17     | 0,34      | 2,16      | 0,48       | 1,68                  | 1,90                   | 2,39                   | 2,76                   |
|                  |       | Ночь        | 1,97     | 0,25      | 1,96      | 0,29       | 1,63                  | 1,80                   | 2,09                   | 2,38                   |
| Январь – декабрь | 1     | День        | 2,16     | 0,26      | 2,16      | 0,33       | 1,75                  | 1,98                   | 2,31                   | 2,59                   |
|                  |       | Ночь        | 2,14     | 0,25      | 2,16      | 0,29       | 1,72                  | 1,99                   | 2,29                   | 2,50                   |
|                  | 2     | День        | 2,19     | 0,30      | 2,19      | 0,32       | 1,73                  | 2,03                   | 2,34                   | 2,56                   |
|                  |       | Ночь        | 2,13     | 0,24      | 2,15      | 0,29       | 1,70                  | 1,98                   | 2,27                   | 2,50                   |

Согласно рис. 3 и табл. 1, приземная концентрация СО по данным МОРИТ в мае – сентябре во время дневных и ночных пролетов спутника Terra (околополуденные и околополуночные часы) над фоновым районом в среднем составляет 145 и 132 ppbv, а над загрязненным районом – 148 и 134 ppbv соответственно. При этом приземная концентрация СО в дневное и ночное время над фоновым районом, как правило, изменяется в диапазонах (от  $P_5$  до  $P_{95}$ )  $115 \div 187$  и  $122 \div 151$  ppbv, а над загрязненным –  $117 \div 211$  и  $123 \div 157$  ppbv соответственно. Среднеквадратическое отклонение приземной концентрации СО в дневное и ночное время составляет 26 и 9 ppbv для фонового района и 28 и 11 ppbv для загрязненного. Полученные значения малы и не превышают ПДК<sub>мр</sub> по СО (4290 ppbv), в частности среднее многолетнее дневное значение СО за теплый период равно 148 ppbv ( $0,2 \text{ мг/м}^3$ ), что совпадает с данными, приведенными на рис. 1.

Таким образом, в мае – сентябре в загрязненном районе как средние арифметические и медианные значения, так и дисперсия и размах значений приземной концентрации СО в дневные и ночные часы несколько выше, чем в фоновом районе, однако эти различия статистически незначимы. С использованием *t*-критерия Стьюдента при доверительной вероятности  $p = 0,95$  выявлены значимые различия между дневными полными и приземными ночными полными концентрациями СО в теплый период отдельно для загрязненного и фонового районов. Рассчитанные значения *t*-критерия для полного содержания СО в загрязненном и фоновом районах равны 5,3 и 3,1, а для приземной концентрации СО

$t = 5,3$  в обоих районах. При рассмотрении аналогичных оценок, рассчитанных за весь год (с января по декабрь), отмеченные выше особенности также прослеживаются, однако они не значимы и менее выражены по сравнению с теплым периодом.

Полное (интегральное) содержание СО в тропосфере имеет сходную динамику, однако есть и отличия (см. табл. 2 и рис. 3). В теплый период года в дневное и ночное время над фоновым районом оно в среднем равно  $2,11$  и  $1,99 \cdot 10^{18}$  моль/см<sup>2</sup>, а над загрязненным –  $2,17$  и  $1,97 \cdot 10^{18}$  моль/см<sup>2</sup> соответственно. При этом полное содержание СО в тропосфере в дневное и ночное время над фоновым районом, как правило, изменяется в диапазонах (от  $P_5$  до  $P_{95}$ )  $(1,68 \div 2,59) \cdot 10^{18}$  и  $(1,60 \div 2,49) \cdot 10^{18}$  моль/см<sup>2</sup>, а над загрязненным –  $(1,68 \div 2,76) \cdot 10^{18}$  и  $(1,63 \div 2,38) \cdot 10^{18}$  моль/см<sup>2</sup> соответственно. Среднеквадратическое отклонение содержания СО в тропосфере в дневное и ночное время составляет  $0,28$  и  $0,31 \cdot 10^{18}$  моль/см<sup>2</sup> для фонового района и  $0,34$  и  $0,25 \cdot 10^{18}$  моль/см<sup>2</sup> – для загрязненного.

Отличие в разбросе значений полного содержания СО в разное время суток менее выражено, чем для приземной концентрации СО (рис. 3). При рассмотрении аналогичных оценок полного содержания СО, рассчитанных с января по декабрь, отмеченные выше особенности также имеют место, однако менее выражены, чем в теплый период.

Сезонная изменчивость приземной концентрации СО и его полного (интегрального) содержания в тропосфере над фоновым и загрязненным районами в дневных и ночных условиях приведена на рис. 4 и в табл. 3, 4. Видно, что во внутrigодовом

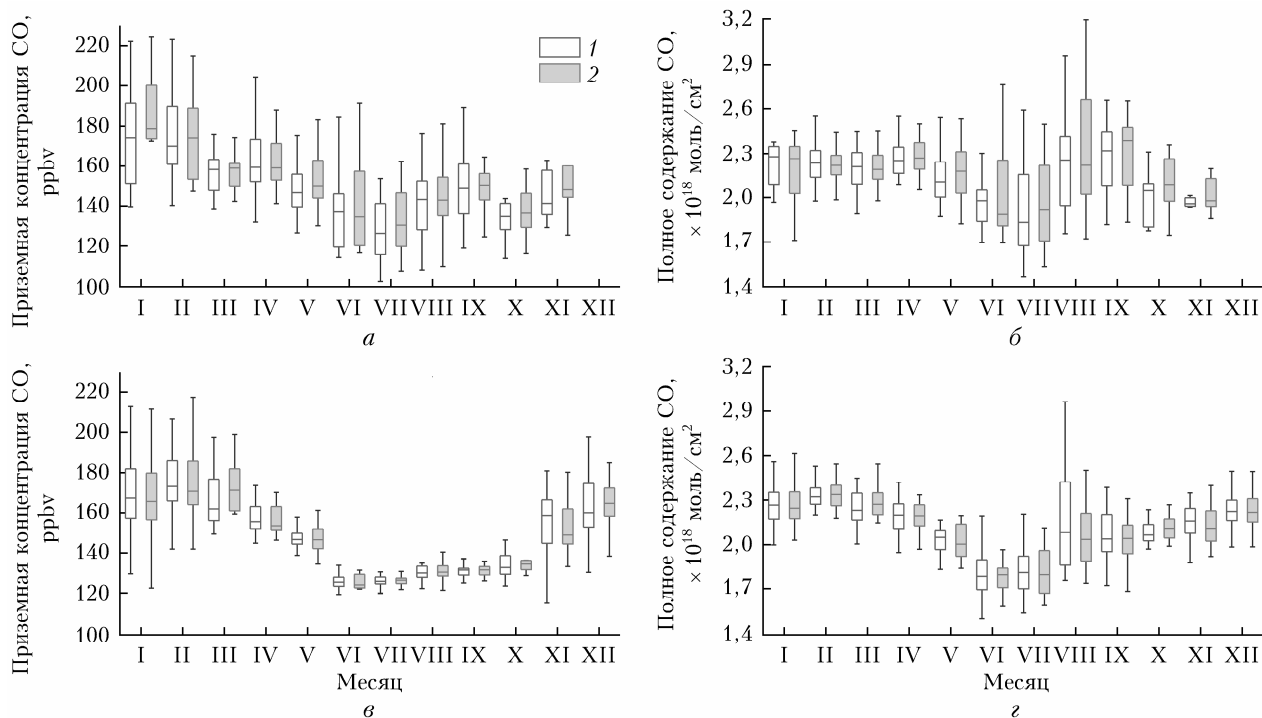


Рис. 4. Диаграммы изменчивости приземной концентрации (*а, е*) и полного (интегрального) содержания СО в тропосфере (*б, з*) в фоновом (*1*) и загрязненном (*2*) районах для отдельных месяцев по данным МОРИТТ, полученным во время дневных (*а, б*) и ночных (*е, з*) пролетов спутника Тегга за 2020–2023 гг. Дневные данные МОРИТТ в декабре отсутствуют

Т а б л и ц а 3

Средние арифметические значения приземной концентрации СО, ppbv

| Район | Время суток | Месяц |     |     |     |     |     |     |      |     |     |     |     |
|-------|-------------|-------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|------|-----|-----|-----|-----|
|       |             | I     | II  | III | IV  | V   | VI  | VII | VIII | IX  | X   | XI  | XII |
| 1     | День        | 174   | 174 | 158 | 169 | 154 | 140 | 131 | 141  | 152 | 133 | 168 | —   |
|       | Ночь        | 171   | 173 | 168 | 164 | 147 | 126 | 126 | 131  | 131 | 135 | 156 | 162 |
| 2     | День        | 181   | 175 | 157 | 177 | 155 | 146 | 136 | 153  | 151 | 138 | 152 | —   |
|       | ночь        | 169   | 176 | 175 | 162 | 148 | 126 | 127 | 134  | 134 | 136 | 153 | 167 |

Т а б л и ц а 4

Средние арифметические значения полного (интегрального) содержания СО в тропосфере,  $\times 10^{18}$  моль/см<sup>2</sup>

| Район | Время суток | Месяц |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
|-------|-------------|-------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
|       |             | I     | II   | III  | IV   | V    | VI   | VII  | VIII | IX   | X    | XI   | XII  |
| 1     | День        | 2,22  | 2,26 | 2,20 | 2,32 | 2,12 | 2,00 | 1,90 | 2,21 | 2,26 | 2,01 | 2,07 | —    |
|       | Ночь        | 2,29  | 2,32 | 2,24 | 2,18 | 2,04 | 1,79 | 1,81 | 2,21 | 2,07 | 2,09 | 2,15 | 2,22 |
| 2     | День        | 2,18  | 2,22 | 2,20 | 2,34 | 2,17 | 2,03 | 1,97 | 2,34 | 2,29 | 2,10 | 2,01 | —    |
|       | ночь        | 2,28  | 2,35 | 2,28 | 2,20 | 2,02 | 1,78 | 1,81 | 2,11 | 2,01 | 2,11 | 2,13 | 2,24 |

ходе как в первом, так и во втором случае прослеживаются летний минимум и зимне-весенний максимум.

Среднемесячная приземная концентрация СО (табл. 3) в фоновом районе в дневное и ночное время изменяется в диапазонах от 131 (июль) до 174 ppbv (январь-февраль) и от 126 (июнь-июль) до 173 ppbv (февраль), а в загрязненном районе — от 136 (июль) до 181 ppbv (январь) и от 126 (июнь) до 176 ppbv (февраль) соответственно. При этом амплитуда сезонной изменчивости приземной концентрации СО в фоновом районе составляет

43 ppbv (28% от среднегодовой) днем и 47 ppbv (31% от среднегодовой) ночью, а в загрязненном районе — 45 ppbv (29% от среднегодовой) и 50 ppbv (33% от среднегодовой) соответственно.

В фоновом районе в дневное и ночное время полное содержание СО изменяется в диапазонах от  $1,90 \cdot 10^{18}$  (июль) до  $2,32 \cdot 10^{18}$  моль/см<sup>2</sup> (апрель) и от  $1,79 \cdot 10^{18}$  (июнь) до  $2,32 \cdot 10^{18}$  моль/см<sup>2</sup> (февраль), а в загрязненном районе — от  $1,97 \cdot 10^{18}$  (июль) до  $2,34 \cdot 10^{18}$  моль/см<sup>2</sup> (апрель) и от  $1,78 \cdot 10^{18}$  (июнь) до  $2,35 \cdot 10^{18}$  моль/см<sup>2</sup> (февраль). При этом амплитуда сезонной изменчивости СО

в фоновом районе составляет  $0,42 \cdot 10^{18}$  моль/см<sup>2</sup> (19% от среднегодовой) в дневное время и  $0,53 \cdot 10^{18}$  моль/см<sup>2</sup> (25% от среднегодовой) в ночное, а в загрязненном районе —  $0,37 \cdot 10^{18}$  (17% от среднегодовой) и  $0,57 \cdot 10^{18}$  моль/см<sup>2</sup> (27% от среднегодовой). Среднемесячные значения полного содержания СО в тропосфере приведены в табл. 4.

Таким образом, внутригодовой ход выражен сильнее в изменчивости приземной концентрации СО, чем в изменчивости полного содержания СО в тропосфере, а в ночное время сильнее, чем в дневное, для обеих величин.

Сравнение сезонной изменчивости исследуемых величин в рассматриваемых районах (см. табл. 3 и 4, рис. 4) показало, что в большинстве месяцев как днем, так и ночью средние (медианные) значения приземной концентрации и полного содержания СО в загрязненном районе незначительно выше, чем в фоновом. При этом наиболее сильное превышение среднемесячных значений исследуемых величин в загрязненном районе относительно фонового отмечается в теплый период года в дневное время.

## Заключение

В теплый период в фоновом и в загрязненном районах с использованием *t*-критерия Стьюдента выявлены значимые различия между дневными и ночными полными концентрациями СО. Аналогичный вывод получен для приземных концентраций. В двух районах в дневное время как полная, так и приземная концентрации СО выше, чем в ночное. Минимальные значения получены для середины лета (июнь — июль), максимальные характерны для зимнего периода (январь — февраль), что указывает на вклад в загрязнение атмосферы стационарных источников СО. Различие многолетних средних концентраций СО в приземном слое за теплый период днем между фоновым и загрязненным районами составляет 3 ppbv, и полное интегральное содержание над нефтезагрязненным районом больше на  $0,06 \cdot 10^{18}$  моль/см<sup>2</sup>, чем над фоновым.

Значимые различия между дневными и ночными концентрациями СО в теплый период связаны, предположительно, с выбросами от подвижных источников днем, повышение концентраций СО в холодный период — с выбросами от стационарных источников теплоэнергетики и в меньшей степени от факельных установок. Проведенные исследования содержания СО в атмосфере с помощью спутниковых данных показывают информативность и перспективность применения спутниковых данных МОРПТ для оценки качества атмосферы в условиях труднодоступности северных нефтедобывающих территорий.

**Финансирование.** Работа выполнена в рамках госзаданий ИМКЭС СО РАН (НИОКТР 121031300154-1) и ИХН СО РАН (НИОКТР 121031500046-7), при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования РФ.

## Список литературы

1. *О состоянии и об охране окружающей среды Российской Федерации в 2019 году.* Государственный доклад. М.: Минприроды России, 2020. 1000 с.
2. *Доклад об экологической ситуации в Ханты-Мансийском автономном округе — Югре.* URL: [https://prirodnadzor.admhmao.ru/upload/iblock/307/7tkf0i8mn4w02cx3gv46iri6jujey37z/Doklad-KHMAO\\_YUGRA-2022.pdf](https://prirodnadzor.admhmao.ru/upload/iblock/307/7tkf0i8mn4w02cx3gv46iri6jujey37z/Doklad-KHMAO_YUGRA-2022.pdf) (дата обращения: 25.02.2024).
3. *Служба по контролю и надзору в сфере охраны окружающей среды Ханты-Мансийского автономного округа — Югры. Атмосферный воздух.* URL: <https://prirodnadzor.admhmao.ru/sostoyanie-okruzhayushchey-sredy/atmosfernyy-vozdukh/> (дата обращения: 25.02.2024).
4. Садовский И.Н., Пашинов Е.В., Сазонов Д.С. Анализ возможности расчета элементов баланса атмосферных парниковых газов по современным данным спутникового мониторинга // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2023. Т. 20, № 6. С. 117–128. DOI: 10.21046/2070-7401-2023-20-6-117-128.
5. Liu J., Drummond J.R., Li Q., Gille J.C., Ziskin D. Satellite mapping of CO emission from forest fires in Northwest America using MOPITT measurements // Remote Sens. Environ. 2005. V. 95. P. 502–516. DOI: 10.1016/j.rse.2005.01.009.
6. Ситнов С.А., Мохов И.И., Джола А.В. Общее содержание оксида углерода в атмосфере над российскими регионами по спутниковым данным // Изв. РАН. Физ. атмосф. и океана. 2017. Т. 53, № 1. С. 38–55. DOI: 10.7868/S0002351517010126.
7. Алексеева М.Н., Федоров Д.В., Русских И.В., Яценко И.Г. Дистанционно-наземный мониторинг нефтезагрязненных земель Нефтеюганского района ХМАО // Оптика атмосф. и океана. 2023. Т. 36, № 6. С. 513–520. DOI: 10.15372/AOO20230613.
8. Козин В.В., Москвина Н.Н. Дробное ландшафтное районирование Ханты-Мансийского автономного округа // Проблемы географии и экологии Западной Сибири. 1998. Вып. 3. С. 3–39.
9. *Лесохозяйственный регламент Нефтеюганского лесничества.* Ханты-Мансийск, 2024. URL: <https://depprirod.admhmao.ru/dokumenty/prik/1852597/> (дата обращения: 25.02.2024).
10. *Лесохозяйственный регламент Сургутского лесничества.* URL: [https://depprirod.admhmao.ru/upload/medialibrary/269/LKHR-Surgutskogo-ot-21.12.2018-\\_59\\_np\\_aktual\\_ya-red\\_ya-03.2022.pdf](https://depprirod.admhmao.ru/upload/medialibrary/269/LKHR-Surgutskogo-ot-21.12.2018-_59_np_aktual_ya-red_ya-03.2022.pdf) (дата обращения: 25.02.2024).
11. *Fire Information for Resource Management System.* URL: <https://firms.modaps.eosdis.nasa.gov> (дата обращения: 25.02.2024).
12. *USGS EarthExplorer.* URL: <https://earthexplorer.usgs.gov/> (дата обращения: 25.02.2024).

13. *MOPITT* (Measurements of Pollution in the Troposphere). Version 9. Product User's Guide. Boulder: National Center for Atmospheric Research, 2022. 32 p.

14. *Atmospheric* Science Data Center. MOPITT. URL: <https://asdc.larc.nasa.gov/data/MOPITT> (last access: 25.02/2024).

*M.N. Alekseeva, K.N. Pustovalov, E.A. Golovatskaya, I.G. Yashchenko.* **Monitoring the content of carbon monoxide in the atmosphere of oil and gas producing regions of Khanty-Mansi Autonomous Okrug using satellite data MOPITT.**

This work is devoted to the issues of remote monitoring of atmospheric gas concentrations using the example of carbon monoxide over the oil and gas producing territories of the Khanty-Mansi Autonomous Okrug with a high concentration of fuel combustion sources. The analysis of the variability of carbon monoxide (CO) content in the atmosphere over an oil-polluted area in the Khanty-Mansi Autonomous Okrug is performed based on satellite sensing data (Terra/MOPITT). The daily and seasonal dynamics of the integral content and surface concentration of CO are studied. The average CO content (integral and surface) in the oil-polluted area exceeds similar values in the background area, both in general for the warm period of the year and for most months. There are no significant differences in the CO content above the background and contaminated areas, which may be due to the mixing of air masses; however, the average CO content (integral and ground level) in the contaminated area exceeds similar values in the background area, which is explained by the presence of stationary CO sources in the former, including flare units.